

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 64-077002

(43)Date of publication of application : 23.03.1989

(51)Int.Cl.

G02B 6/12
G02B 6/14

(21)Application number : 63-116938

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 16.05.1988

(72)Inventor : KAWACHI MASAO
TAKATO NORIO
JINGUJI KANAME
SUGITA AKIO
SUMITA MAKOTO

(30)Priority

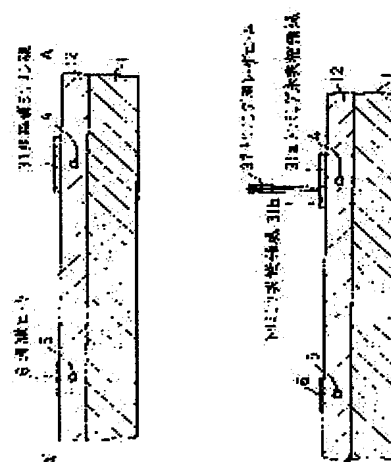
Priority number : 62162164 Priority date : 29.06.1987 Priority country : JP

(54) INTEGRATED OPTICAL DEVICE AND ITS MANUFACTURE

(57)Abstract:

PURPOSE: To execute an exact double refraction control of an optical waveguide by providing a stress providing film on an optical waveguide clad layer so that a stress exerted on an optical waveguide core part is varied non-reversibly by an external stimulus.

CONSTITUTION: A clad layer 12 is formed on a substrate, and a single mode optical waveguide containing a core part which is buried in this clad layer 12 and has a light propagating action is formed. Subsequently, a stress providing film 31 for providing a stress to this single mode optical waveguide, and also, varying non-reversibly the stress by trimming is formed on the clad layer 12. It will suffice that this stress providing film 31 is brought to trimming so that a desired double refraction characteristic can be obtained. At the time of bringing the stress providing film 31 to trimming, a diagnostic light is made incident on an integrated optical device, and while monitoring a prescribed device characteristic such as a polarized wave characteristic of the device, etc., trimming can be executed. In such a way, a precise double refraction control, and also, a polarized wave characteristic control of the optical device can be executed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application]

converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭64-77002

⑮ Int. Cl.⁴
G 02 B 6/12

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和64年(1989)3月23日

C-7036-2H
D-7036-2H
E-7036-2H※

審査請求 未請求 請求項の数 7 (全21頁)

⑭ 発明の名称 集積光デバイスおよびその製造方法

⑰ 特 願 昭63-116938

⑱ 出 願 昭63(1988)5月16日

優先権主張 ⑲ 昭62(1987)6月29日 ⑳ 日本(JP)㉑ 特願 昭62-162164

⑳ 発 明 者 河 内 正 夫 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

㉑ 発 明 者 高 戸 範 夫 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

㉒ 発 明 者 神 宮 寺 要 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

㉓ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

㉔ 代 理 人 弁理士 谷 義 一
最終頁に続く

明 細 書

1. 発明の名称

集積光デバイスおよびその製造方法

2. 特許請求の範囲

1) 基板と、

前記基板上に配置されたクラッド層および前記クラッド層に埋設され、光伝搬作用をもつコア部を有する単一モード光導波路と、

前記クラッド層上の所定部分に配置され、トリミングにより前記コア部に作用する応力を非可逆的に変化させて、前記単一モード光導波路の応力複屈折値を調節し得る応力付与膜と

を具えたことを特徴とする集積光デバイス。

2) 前記応力付与膜が、非晶質シリコン膜であることを特徴とする請求項1記載の集積光デバイス。

3) 前記単一モード光導波路が、SiO₂を主成分とする石英系光導波路であることを特徴とする請求項2記載の集積光デバイス。

4) 基板上にクラッド層に埋設されて光伝搬作用を持つコア部を含む単一モード光導波路を形成する工程と、

前記クラッド層に埋設され光伝搬作用を持つコア部を含む単一モード光導波路を形成する工程と、

前記単一モード光導波路に応力を与え、かつトリミングにより前記応力を非可逆的に変化させ得る応力付与膜を前記クラッド層上に形成する工程と

を具えたことを特徴とする集積光デバイスの製造方法。

5) 前記応力付与膜を部分的にトリミングして、そのトリミングされた箇所の下部の前記単一モード光導波路の応力複屈折値を調節して、当該集積

光デバイスの所定の光学特性を調節する工程をさらに具えたことを特徴とする請求項4記載の集積光デバイスの製造方法。

6) 前記応力付与膜をトリミングする工程において、当該集積光デバイスに診断光を入射させ、前記所定の光学特性をモニタしつつトリミングを行うことを特徴とする請求項5記載の集積光デバイスの製造方法。

7) 前記応力付与膜をトリミングする工程において、光ビームを前記応力付与膜に部分的に照射することによりトリミングを実行することを特徴とする請求項5記載の集積光デバイスの製造方法。

(以下余白)

積光デバイスの実現手段として期待されている。

第14A図および第14B図はこのような石英系単一モード光導波路を用いた従来の集積光デバイスの一例としての導波形マッハ・ツェンダー光干渉計の構成を説明するための、それぞれ、平面図および第14A図におけるAA'線に沿った断面を拡大して示す断面図である。

第14A図および第14B図において、1はシリコン基板である。2および3はシリコン基板1上に石英系ガラス材料により形成された方向性結合器である。これら方向性結合器2および3は互いに近接した2本の石英系単一モード光導波路2-1と2-2および3-1と3-2からなり、その結合率はいずれもほぼ50%になるように設定されている。4および5は方向性結合器2および3の光導波路2-1と3-1との間および光導波路2-2と3-2との間をそれぞれ連結する2本の光導波路であり、これら光導波路4および5は長さが ΔL だけ異なっている。これらの光導波路2-1, 2-2, 3-1, 3-2, 4お

3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

本発明は、基板上に光導波路を配設した集積光デバイスおよびその製造方法に関するもので、さらに詳細には、光導波路の複屈折性を調節することにより所望の偏波依存性あるいは偏波無依存性をもつように構成した集積光デバイスおよびその製造方法に関するものである。

[従来の技術]

平面基板上に形成された単一モード光導波路、特にシリコン基板上に形成された石英系単一モード光導波路は、例えばM.Takato et al.: "Guided-Wave Multi/Demultiplexer for Optical FDM Transmission", Technical Digest of ECOC'86, p.443に記載されている。このような石英系単一モード光導波路は、そのコア部の断面の寸法を通常使用されている石英系単一モード光ファイバに合わせて5~10 μ m程度に設定することができるので、光ファイバとの整合性に優れた実用的な集

および5はシリコン基板1上に配置されているクラッドガラス層12に埋設されたコアガラス部より成る。1aおよび2aは光導波路2-1および2-2の各入力ポート、1bおよび2bは光導波路3-1および3-2の各出力ポートである。6はクラッドガラス層12の上において光導波路5の上方に配置した薄膜ヒータである。

この光デバイスにおいて、入力ポート1aから入射した信号光の光周波数を変化させていくと、

$$\Delta f = \frac{c}{2n \cdot \Delta L}$$

(cは光速、nは光導波路の屈折率)

を周期として出力ポート1bおよび2bから交互に信号光を取り出せることが知られている。

第15図は、この周期性を示し、入力ポート1aに信号光として基板1に水平な偏波方向を有するTE偏光を入射した場合の出力ポート1bおよび2bからの出力光の光周波数特性を示すものである。ここで、実線は出力ポート1bからの出力光、破線は出力ポート2bからの出力光の場合を示す。したがっ

て、例えば、 $1.55\mu\text{m}$ 帯において、 $\Delta f=10\text{GHz}$ だけ光周波数間隔の離れた2本の信号光 f_1 および f_2 を入力ポート1aから同時に入射させる場合を考えてみる。ここで、上式に従って $\Delta L \approx 10\text{nm}$ に設定しておく、出力ポート1bおよび2bから2本の信号光 f_1 および f_2 を分離して取り出すことができる。実際には、一方の光導波路5の上部には、光導波路5の実効的な光路長を熱光学効果によって1波長程度変化させるための移相器としての薄膜ヒータ6を配設し、この薄膜ヒータ6への印加電力を調整することにより導波形マッハ・ツェンダ光干渉計の上述の周期を信号光 f_1 および f_2 の周波数値と同期させるとともに、希望の出力ポートに、希望の信号光を取り出す。それにより、第14A図および第14B図に示した光干渉計は全体として光周波数多重合分波器として機能する。

このような集積光デバイスはシリコン基板上への石英系ガラス膜の堆積技術と反応性イオンエッチングによる微細加工技術とを中心とする公知の方法により製造することができる。

B_0 、 ΔL が信号光の波長の整数倍値(零を含む)になるように光導波路の複屈折値を調整しつつ光干渉計を作製すればよいのである。

しかし、従来の集積光デバイス作製法では、ガラス組成や基板の種類を変える以外に複屈折値を制御する方法がなく、高機能の集積光デバイスを構成する際の障害となっていた。あるいはまた、コア部の形状を正方形から、横あるいは縦に長い長方形にすることにより、形状効果を利用して光導波路複屈折値を変化させることはできるものの、変化量は 10^{-3} のオーダーと小さく、実用上十分な変化量は得られなかった。その場合に、極端な長方形にすると、入出力ポートにおいてファイバとの接続損が急増する問題もあった。

上述の導波形光干渉計の欠点を解決するようにした応力複屈折調節溝付き光干渉計が例えば、M.Kawachi et al.: "Birefringence Control in High-Silica Single-Mode Channel Waveguides on Silicon", Technical Digest of OFC/IOOC '87, TuQ31、またはヨーロッパ特許出願公開EP

しかし、第14A図および第14B図に示した導波形光干渉計は、石英系ガラスとシリコン基板との熱膨張係数の差によりガラス膜面内に強い圧縮応力を受けており、これにより光導波路は複屈折値 $B_0 \approx 5 \times 10^{-4}$ 程度の応力複屈折性を呈している($B_0 = n_{TM} - n_{TE}$ 、ここで n_{TE} =TE偏光の実効屈折率、 n_{TM} =TM偏光の実効屈折率)。すなわち、光導波路の実効屈折率 n が入射光の偏光方向によって B_0 だけ異なる。このため光干渉計の上述の周期特性の位相に偏光方向によるずれが生じ、信号光の偏光方向を基板面に水平(TE偏光)あるいは垂直(TM偏光)のいずれか一方にあらかじめ調整しておかないと光周波数多重合分波器としての動作が全く不能になるという問題があった。

第14A図および第14B図において、光干渉計を構成する光導波路の複屈折値を仮に自由に制御できればTE偏光とTM偏光の周期特性が見かけ上一致するように導波形光干渉計を作製することが可能であることが知られている。すなわち、光干渉計の光路長差 ΔL の偏光方向によるわずかな差

-0255270-A2に提案されている。

第16A図および第16B図は、このようは応力複屈折調節溝付き光干渉計の構造の一例を示す、それぞれ、平面図および第16A図のAA'線に沿った断面を拡大して示す断面図である。第14A図および第14B図に示した光干渉計との相違点は、光導波路4のコア部近傍のクラッドガラス層12に、基板1からの応力の一部を解放して光導波路の応力複屈折を調節するための応力調節溝21aおよび21bを反応性イオンエッチング技術により加工した点にある。光干渉計の光路長差 ΔL の偏光方向によるわずかな差が信号光波長の整数倍になるように、これら溝21aおよび21bの位置、深さ、幅、長さを設定することにより、原理上は光干渉計の入力偏波依存性を確かに解消できるが、次のような製作上の問題点が生じた。

すなわち、第16A図および第16B図に示した集積光デバイスの形態の光干渉計を製造するにあたっては、応力調節溝21aおよび21bは、クラッド層12の一部を反応性イオンエッチングにより除去

することにより形成されるが、その場合に、エッチング工程中に光干渉計の偏波特性を同時測定（オンラインモニター）できない問題点がある。これは、反応性イオンエッチングのような微細加工は真空容器内のプラズマ中で実行され、光干渉計に診断光を入射して偏波特性をモニタしつつ精加工することが困難だからである。その結果、ともすれば、過剰にエッチングを実行してしまい、所望の偏波特性に正確にチューニングすることが困難であるという問題点があった。

第16A図および第16B図に示した応力調節溝21aおよび21bの代わりに、応力付与部を光導波路コア部近傍のクラッド層12中に設けて、所望部分の光導波路の複屈折値を調節する方法も提案されている。第17図は、かかる従来の応力付与部付き光導波路の構造例を示す断面図であり、コア部4の両側にこのコア部4に近接して配置された多結晶性シリコン応力付与部22aおよび22bにより光導波路4の複屈折値を調節する。しかし、複屈折値を所望の値に正確に合わせるためには、結密

率を増加させるイオンを拡散させてコア部を形成するイオン拡散ガラス導波路を基本とした集積光デバイスにおいても、光導波路コア部は基板から応力を受け、これにより応力複屈折性が発生していることが知られている。集積光デバイスに所望の偏波依存性を付与するためには、この応力複屈折値を正確に制御することがやはり要求されるが、光導波路製造上の製作誤差を許容しつつ精密に複屈折値をチューニングする方法は無かった。

以上に説明したガラス系集積光デバイスの他に、 LiNbO_3 系光導波路、 InP 系や GaAs 系等の半導体光導波路、YIG系等の磁性体光導波路を用いた集積光デバイスの作製にあたっては、光導波路複屈折値を精密に制御することが強く要求されている。例えば、GGG基板上にYIG系光導波路を形成して集積形光アイソレータを構成する試みが行われているが、YIG光導波路を信号光が伝搬する際に、偏波面の円滑なファラディ回転が営まれるためには、YIG光導波路がGGG基板から受ける応力

な応力分布計算により応力付与部22aおよび22bの形状、位置および必要長さを算出し、これに基づいてガラス膜およびシリコン膜の堆積およびエッチングを実行し、少しの誤差も無く所定の応力付与部付き光導波路構造を形成しなければならないという製作上の問題点があった。

以上、導波形マッハ・ツェンダー光干渉計の入力偏波依存性を例にとり集積光デバイス製造に際しての光導波路複屈折調節の重要性と従来製法における問題点を述べたが、他の集積光デバイス、例えば、光リング共振器、ファブリーペロー共振器、偏波分離器、モード変換器、光波長板、方向性結合器などを製造する上でも同様の問題点がある。

上述の石英系単一モード光導波路に限らず、他の材料系の単一モード光導波路を用いた集積光デバイスを製造する場合においても、光導波路の複屈折特性を調節して、所望の偏波特性を有するデバイスを実現することが望まれている。例えば、多成分系ガラス基板面の所望位置にガラスの屈折

複屈折値を零に設定する必要がある。この目的のためにYIG光導波路上部に石英ガラス膜を応力付与部として形成する方法等が提案されているが、第16A図および第16B図や第17図の従来例について説明したのと同様の理由により、正確な複屈折制御は困難であった。YIG光導波路の上部に重りをのせてGGG基板からの応力をキャンセルする方法も提案されているが、重りによりGGG基板そのものが破損する危険も多々あり、しかもまた、一つの基板上に多数の光素子を集積する際には重りをのせるのは現実的ではなかった。

〔発明が解決しようとする課題〕

従来の集積光デバイス製造技術における上記欠点、すなわち、光導波路の複屈折値を精密かつ容易に調節することができないという欠点は、光導波路の複屈折特性が重要な役割を果たす集積光デバイス、たとえば光干渉計、リング共振器、偏光分離器、アイソレータなどを設計および製造する上での大きな障害となっていた。

そこで、本発明の目的は、従来技術の上記の制約を解消して光導波路の正確な複屈折制御が可能なる集積光デバイスおよびその製造方法を提供することにある。

本発明の他の目的は、所望の偏波依存性を付与され、あるいは逆に偏波依存性の無い集積光デバイスおよびその製造方法を提供することにある。

[課題を解決するための手段]

本発明は、上述した応力調節溝を形成するためのマスクとして用いた非晶質シリコン膜自体が強力な応力作用を下側の光導波路に及ぼしていることを見出し、その認識の下に完成したものである。

すなわち、本発明では、複屈折制御のために、光導波路クラッド層上に光導波路コア部に及ぼす応力を外部刺激（トリミング）により非可逆的に変化させることのできる応力付与膜を設ける。

このような応力付与膜の一部を所望の光導波路

また、単一モード光導波路を、 SiO_2 を主成分とする石英系光導波路とすることができる。

本発明集積光デバイスの製造方法は基板上にクラッド層を形成する工程と、クラッド層に埋設され光伝搬作用を持つコア部を含む単一モード光導波路を形成する工程と、単一モード光導波路に応力を与え、かつトリミングにより応力を非可逆的に変化させ得る応力付与膜をクラッド層上に形成する工程とを具備したことを特徴とする。

ここで、応力付与膜を部分的にトリミングして、そのトリミングされた箇所の下部の単一モード光導波路の応力複屈折値を調節して、集積光デバイスの所定の光学特性を調節する工程をさらに具備することができる。

また、応力付与膜をトリミングする工程において、集積光デバイスに診断光を入射させ、所定の光学特性をモニタしつつトリミングを行うことができる。

また、応力付与膜をトリミングする工程において、光ビームを応力付与膜に部分的に照射するこ

複屈折特性が得られるようにトリミングし、例えばレーザービーム照射により応力付与膜の一部に相変化や蒸発を引き起こして、これにより集積光デバイスに所望の偏波特性を付与する。

さらにまた、本発明では、応力付与膜をトリミングする際に、集積光デバイスに診断光を入射し、デバイスの偏波特性など所定のデバイス特性をモニタしつつトリミングを行い、極めて正確に複屈折制御および偏波特性制御を行うことができるようにする。

本発明集積光デバイスは基板と、基板上に配置されたクラッド層およびクラッド層に埋設され、光伝搬作用をもつコア部を有する単一モード光導波路と、クラッド層上の所定部分に配置され、トリミングによりコア部に作用する応力を非可逆的に変化させて、単一モード光導波路の応力複屈折値を調節し得る応力付与膜とを具備したことを特徴とする。

ここで、応力付与膜を、非晶質シリコン膜とすることができる。

とによりトリミングを実行することができる。

[作 用]

本発明では光導波路の組成や基板の種類を変えることなしに、複屈折値を調節できる点で、第16A図および第16B図の応力調節溝や第17図の応力付与部を有する従来の光デバイスと異なる。しかも、本発明における応力付与膜の形成にあたっては、製作精度を要求されず、後工程において、その応力付与膜をトリミングして、所望の複屈折特性が与えられるようにすればよい。その際に、応力付与膜をトリミングする際に、集積光デバイスに診断光を入射し、デバイスの偏波特性など所定のデバイス特性をモニタしつつトリミングを行うことができるので、極めて精密な複屈折制御、ひいては光デバイスの偏波特性制御ができる。

トリミングの概念は電子回路分野における混成集積回路を製造する際に基板上に蒸着あるいは印刷形成された抵抗体薄膜の一部をレーザービームによりカッティングして所望の抵抗値に正確に合わ

せる技術分野では従来から知られている。また、集積光デバイス分野においても、方向性結合器の結合率をチューニングして方向性結合器製作上の誤差を緩和する目的でトリミングの概念が提案されたことはある。この場合、光照射により屈折率が変化する材料、例えばカルコゲナイド・ガラス膜を LiNbO_3 系方向性結合器の光結合部上部に装荷しておきカルコゲナイド・ガラス膜に紫外線を照射しつつ結合率を調節するものである。しかし、これまでに応力付与膜のトリミングにより光導波路に加えらるる応力状態を変化させて、その光導波路の複屈折値を調節し、以て所望の偏波特性を持つ複屈折性集積光デバイスを製造した例は皆無である。

[実施例]

以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

実施例1

第1図は本発明の集積光デバイスの第1の実施

と膜31は、第1図に示すように、トリミング未実施領域（本例では非晶質領域）31aとトリミング実施領域（本例では多結晶領域）31bとに区分される。6はクラッドガラス層12の上において光導波路5の上方に配置した薄膜ヒータである。

応力付与膜31を形成しない従来の場合には、単一モード光導波路の応力複屈折値 B はシリコン基板からの圧縮応力を反映して $B \approx 5 \times 10^{-4}$ であった。これに対して、非晶質シリコン応力付与膜31を形成すると、この応力付与膜31は光導波路4に引張り応力を与えるので、基板1からの圧縮応力を一部打ち消す方向に作用し、応力付与膜31の下部の光導波路4における複屈折値は $B \approx 3.5 \times 10^{-4}$ まで減少するが、応力付与膜31の一部分31bを例えばレーザビームで加熱して多結晶化させると、このトリミング実施領域31bでは応力付与膜31の応力が緩和され、ほぼもとの値 $B \approx 5 \times 10^{-4}$ にまで回復することを本発明者らは見出した。

このレーザビームトリミング操作は、光干渉計に入力ポート1aまたは2aより測定光を入射しつ

例としての導波形光干渉計の構成を示す斜視図である。

この実施例1は、第14A図および第14B図または第16A図および第16B図の従来構成と異なり、クラッド層12の上において、結合率50%の2個の方向性結合器2および3を連結する光導波路4に対応する部分にコア部に及ぼす応力を外部刺激により非可逆的に変化させ得る応力付与膜31が装荷されている。

第1図において、シリコン基板1上の石英系単一モード光導波路4および5のクラッド層12は厚さは $50 \mu\text{m}$ の SiO_2 系ガラスである。コア部は $8 \mu\text{m}$ 角の SiO_2 - TiO_2 系ガラスであって、クラッド層12の中央に配置される。応力付与膜31はクラッド層12上の一部に形成した厚さ $6 \mu\text{m}$ で幅 $200 \mu\text{m}$ の非晶質シリコン膜であり、必要に応じて、外部刺激（例えばレーザビーム照射）を加えて局部的に多結晶シリコンへと相変化させ、下部のコア部に及ぼす応力を変化させることができる。したがって、トリミング終了後の状態では、応力付

実施することができるので、その測定光に基いて光導波路の複屈折値を正確に微調整して光干渉計に所望の偏波依存性あるいは無依存性を与えることができる。

本発明の集積光デバイスの製造工程の一実施例を第2A図～第2E図を参照して説明する。第2A図～第2E図は第1図のAA'線に沿った断面に対応して各工程を説明する図である。

まず、第2A図に示すように、シリコン基板1上に SiCl_4 、 TiCl_4 等の混合ガスを原料とする火炎加水分解反応によるガラス微粒子の堆積と透明ガラス化による公知の方法（たとえば、M.Kawachi et al.: "Flame Hydrolysis Deposition of SiO_2 - TiO_2 Glass Planar Optical Waveguides on Silicon", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 22 (1983) p. 1932）で SiO_2 を主成分とする下部クラッド層41と SiO_2 - TiO_2 を主成分とするコア層42とから成る光導波膜を形成する。

続いて、反応性イオンエッチングによりコア層42のうちの不用部分を除去して第2B図に示すよう

に、リッジ状のコア部42aおよび42bを形成する。

次に、第26図に示すように、再び火炎加水分解反応を利用して、コア部42aおよび42bを埋め込むようにSiO₂を主成分とする上部クラッド層43を形成する。下部クラッド層41と上部クラッド層43とによりクラッド層12を形成する。ここで、コア部42aおよび42bによって光導波路4および5をそれぞれ形成する。以上のようにしてチャンネル導波路を形成すること自体は、N.Takato et al.: "Low-Loss High-Silica Single-mode Channel Waveguides", Electron. Lett., 1986 Vol. 22 No. 6 pp. 321-322に記載されている。

続いて、第27図に示すように、応力付与膜としての非晶質シリコン膜31と、必要に応じて移相器として機能する薄膜ヒータ6をクラッド層12の上に、および光導波路4および5の位置にそれぞれ対応して形成する。本実施例では、非晶質シリコン膜31は多結晶シリコンをターゲットとするマグネトロンスパッタ法で形成し、薄膜ヒータ6は金

ある。本実施例の光干渉計の場合には、2個の方向性結合器2と3を連結する2本の光導波路4および5の、方向性結合器を結ぶ区間におけるR値の差が決定的な役割を果たす。

第3図は、本発明で用いたレーザトリミング装置の構成の一例を示す。

第3図において、51はシリコン基板1上に設けた導波形光干渉計用試料であり、試料台52の上に載置する。1a'および2a'は、それぞれ、信号光源53および53'からの信号光を試料51へ入力する光ファイバ、1b'および2b'は光干渉計51からの信号光を光検出装置54へ導く光ファイバである。55はトリミング用のアルゴンレーザ光源、56は非晶質シリコン膜31のうちトリミングを行いたい部分にレーザビームを照射するように、レーザ光源55からのレーザ光を走査させるレーザビーム走査装置であり、この走査装置56からのトリミング用レーザビーム37を非晶質シリコン膜31へ導く。

アルゴンレーザ光源55からのレーザビーム37は、レーザビーム走査装置56を経由して、試料51

膜クロムを蒸着源とする真空蒸着法で形成した。マグネトロンスパッタ法により非晶質シリコン薄膜31を形成した際のスパッタ雰囲気ガスとしては、H₂ガスを3体積%添加したArガスを用いた。

次に、第28図に示すように、トリミング用のアルゴンレーザビーム37を非晶質シリコン膜31の所望部分に照射することにより、この非晶質シリコン膜31の一部分31bを多結晶化させて、その部分に対応する光導波路における複屈折値を所望の値にすることができた。

ところで、集積光デバイスの偏波特性を設定する際には、光導波路の偏波方向による光路長差Rと、光波長λの整数倍値N・λとの差が、決定的な役割を果たすことが多い。ここで、Rは次式で与えられる。

$$R = \int B \cdot dl$$

(lは光導波路長さ方向の線座標)

本発明では、このR値を微調整してデバイスに所望の偏波特性を付与することが可能となるので

の上面に形成された応力付与膜31、ここでは非晶質シリコン膜に照射される。レーザビームが照射された非晶質シリコン膜の部分はレーザ加熱作用により瞬間的に高温となり、多結晶化が進行する。レーザビーム照射を中断すると、温度はすみやかに室温に戻るが、レーザビームが照射された部分に対応する光導波路において複屈折値の非可逆的な変化が残る。レーザビーム照射時にも、入出力光ファイバ1a'、2a'、1b'および2b'は加熱されることがなく、測定用の診断光を光導波路2-1および2-2に入射し、光導波路3-1および3-2からの出射光の偏波特性をモニタできる。そこで、トリミング用レーザビームを非晶質シリコン膜31に間欠的に照射しつつ、偏波特性をモニタすることにより、光導波路4について所望の複屈折偏波特性を高精度で実現できる。

照射したアルゴンレーザビームのパワーは、たとえば1W、スポット径は、たとえば20μm程度である。

なお、レーザビームのパワーを上昇すると、非

品質シリコン膜31が多結晶化する代わりに、瞬間的に蒸発してしまう現象も観察されたが、この現象も、下部のガラス層12の劣化を招かない限り、複屈折トリミングに利用できることを付記する。

レーザ光源55としては、アルゴンレーザの代わりにYAGレーザ等を用いてもよい。

第4A図および第4B図は、第1図示の光干渉計における入力ポート1aと出力ポート1bとの間の光出射特性の偏波依存性の説明図であり、入力ポート1aに入射させたTM波およびTE波の信号光の光周波数をそれぞれ変化させた際の出力ポート1bからの光出力の強度変化を示す。さらに詳細には、第4A図はレーザトリミング実施前の状態を示し、第4B図はレーザトリミング実施後の状態を示す。

第4A図、すなわちトリミング前では、一般に、TM波とTE波の光周波数応答にずれがあるので、前述したように、この光干渉計を合分波器として動作させるためには、TM波およびTE波のいずれか一方のみを選んで入射させなければならない問題点

ヒータ移相器6を調節することにより、光周波数応答の山と谷の位置を f_1, f_2 ($f_2 - f_1 = \Delta f$) に一致させ、偏波依存性のない合分波器としての動作を得ることができた。

がある。

第4B図は、光干渉計の偏波特性をモニタしつつ非品質シリコン応力付与膜31のトリミングを実施し、TM波およびTE波の周波数応答が一致したところでトリミングを終了したものである。この時、2つの方向性結合器2および3を連結している2本の光導波路4および5の光路長差 $n \cdot \Delta L$ の偏光方向によるわずかな差が信号光の波長の整数倍値に一致している。トリミングによるBの変化量 ΔB は、上記実施例では 1.5×10^{-4} 程度であるので、非品質シリコン膜の形成領域長 L^* を $\Delta B \cdot L^* \geq \lambda$ 、すなわち $L^* \geq 10 \mu\text{m}$ に設定しておけば、トリミングにより偏波依存性を必ず解消できる。

第3図のトリミング装置では、 $20 \mu\text{m}$ 程度の空間分解能で応力付与膜31をトリミングでき、光路長差Rを光波長の百分の一以下の精度で調整することが可能であった。

このようにして偏波依存性を解消して構成した光干渉計においては、第4B図に示すように、TE波とTM波とが同一の光周波数応答を示すので、薄膜

実施例2

第5A図および第5B図は、本発明集積光デバイスの第2の実施例としての導波型光干渉計の構造を示す、それぞれ、平面図および第5A図のAA'線に沿っての断面を拡大して示す断面図である。

この実施例2が第1図示の実施例1と相違するのは、光導波路5の両側のクラッド層12に熱分離溝23aおよび23bが設けられている点である。これら熱分離溝23aおよび23bは、クラッド層12の所定部分を反応性イオンエッチングにより除去した後、シリコン基板1の露呈部分を、化学エッチングあるいは反応性イオンエッチングにより一部分えぐるることにより形成したものである。これら熱分離溝23aおよび23bは、薄膜ヒータ6の発熱量が、光導波路5の温度上昇に有効に使われ、無駄にシリコン基板1に散逸するのを防止する役割をもつ。

このような熱分離溝23aおよび23bを設けることにより、薄膜ヒータ移相器6の消費電力は、実施例1の場合に比べて1/10程度に減少する利点がある。

ある。

しかし、熱分離溝23aおよび23bは、第16A図および第16B図に説明した応力調整溝21aおよび21bとしての作用も同時に示し、光導波路5の複屈折値に大きな変化をもたらす点に注意する必要がある。従来、このような熱分離溝23aおよび23bの複屈折値への影響を正確に見積るためには、複雑な応力分布の解析に基づく光回路設定と、誤差を許さない加工工程管理が必要であり、実際上は、ほとんど実行困難であった。本発明では、トリミング可能な応力付与膜31を備えているので、設計誤差や加工誤差をこの応力付与膜31で吸収して、偏波特性を精密に制御すること（ここでは、偏波依存性を解消すること）が可能であり、集積光デバイス（ここでは光干渉計）における移相器の低消費電力化と偏波特性の制御とを両立させることができる。

実施例3

第6図は、本発明の集積光デバイスの第3の実施例としての2段階光干渉計の構成を示す平面図

第6図の構成は、全体として、4チャンネル用光周波数多重用合成分波器として重要な応用分野をもっている。それぞれの光干渉計を構成する光導波路69a, 69e および69gの上には応力付与膜として非晶質シリコン膜67-1, 67-2 および67-3が、それぞれ、配置されている。

それぞれの光干渉計の他方の光導波路69b, 69f および69hの上には、光路長を微調整するための薄膜ヒータ移相器66-1, 66-2 および66-3が、それぞれ配置されている。

この2段階光干渉計の偏波依存性を解消するためには、以下の手順を踏む。

まず、入射ポート61aから信号光を入射させ、出射ポート65aの光周波数応答の偏波依存性をモニタしながら、非晶質シリコン膜67-2のレーザトリミングを実施して、非晶質シリコン膜67-2が形成された光干渉計の偏波依存性を解消させる。

次に同様の操作を入射ポート61dおよび出射ポート65dについて実施し、非晶質シリコン膜67-3の形成された光干渉計の偏波依存性を解消させ

である。

この実施例は、第1図示の光干渉計の構成を基本として、光路長差 $\Delta L \approx 10\text{mm}$ の1個の光干渉計と、光路長差 $\Delta L' = \Delta L/2 \approx 5\text{mm}$ の2個の光干渉計とを連結して構成したものである。

第6図において、61a～61dは入射ポート、62-1～62-3および63-1～63-3は3個の光干渉計の各々における方向性結合器、64a～64dは、それぞれ、入射ポート61a～61dに対応する入力側光導波路、65a～65dは出射ポートである。66-1～66-3は3個の光干渉計の各移相器用薄膜ヒータ、67-1～67-3は3個の光干渉計の各応力付与膜である。68a～68dは、それぞれ、出射ポート65a～65dに対応する出力側光導波路である。69aおよび69bは方向性結合器62-1と63-1とを結合する光導波路、69cおよび69dは方向性結合器63-1と62-3および62-2とをそれぞれ結合する光導波路、69eおよび69fは方向性結合器62-2と63-2とを結合する光導波路、69gおよび69hは方向性結合器62-3と63-3とを結合する光導波路である。

る。

このようにして2段階目の2個の光干渉計の偏波依存性を解消させた後に、入射ポート61bから信号光を入射させ、ここで、2段階目の光干渉計の干渉作用を無視できるように出射ポート65aと出射ポート65bからの出力光強度の和をとり、この光周波数応答偏波依存性をモニタしながら、非晶質シリコン膜67-1をレーザトリミングすることにより、1段階目の光干渉計の偏波依存性を解消させる。

このようにして、すべての光干渉計の偏波依存性を解消させた後、薄膜ヒータ移相器66-1, 66-2 および66-3への印加電力を変化させることにより、それぞれの光干渉計の光周波数応答を横軸方向（光周波数軸方向）で微調整して、106Hz間隔の4チャンネルの信号光 f_1, f_2, f_3, f_4 を扱い、かつ偏波依存性のない合成分波器を得ることができ

る。

さらに多段の光干渉計（多チャンネル合成分波器）を構成するにあたっては、同様にして本発明

を適用できることは、もちろんである。

実施例 4

第7図は、本発明の集積光デバイスの第4の実施例としての導波形リング共振器の構成を示す平面図である。

第7図において、シリコン基板1上において、石英系単一モード光導波路により、リング状光導波路71と入力光導波路72および出力光導波路73とが、それぞれ、方向結合器74および75により光結合するよう配置されている。方向性結合器74および75の結合率は、数%～10%程度に設定されている。リング状光導波路71の上部にはレーザビーム37によりトリミングを行って応力を調整可能な応力付与膜としての非晶質シリコン膜31が配置されている。

第8A図および第8B図は、入射ポート1aからTM波とTE波との混合波による信号光を入射したときに、出力ポート1bから出射する出射光の光周波数応答特性を示す。第8A図はトリミング実施前の状態に対応し、リング共振器特有の周期的な共振特

性が得られるものの、TM波とTE波の応答はずれている。第8B図は光周波数応答のずれがなくなるようトリミングを実行した後の周波数応答であり、このトリミング実施後ではリング光共振器の偏波依存性は解消されている。

リング光共振器の周波数周期 Δf_r は、リング状光導波路71のリング周長 L_{ring} と次の関係にある。

$$\Delta f_r = \frac{c}{n \cdot L_{ring}}$$

本実施例では $L_{ring} \approx 40\text{mm}$ であり、周期 Δf_r は56Hzである。トリミングにより、リング状光導波路71の光路長 $n \cdot L_{ring}$ の偏波方向に依るわずかな差が信号光波長の整数倍に設定されたことになる。

以上の実施例では、偏波依存性のない集積光デバイスを提供する場合について本発明を説明してきたが、次の実施例は、逆に所定の偏波依存性を持つ集積光デバイスを構成する場合である。

実施例 5

第9A図および第9B図は、本発明集積光デバイスの第5の実施例としての導波形偏光分離器の構成を示す、それぞれ、平面図およびAA'線に沿った断面を拡大して示す断面図である。

ここで、シリコン基板1上に2本の石英系単一モード光導波路81および82を配置し、これら光導波路81および82の2箇所を互いに近接させて、結合率はほぼ50%の方向性結合器83および84を構成して、全体として対称形のマッハツェンダ形光干渉計を構成する。2個の方向性結合器83および84を連結する光導波路の一方、ここでは光導波路82には移相器としての薄膜ヒータ6が装荷され、他方の光導波路、ここでは光導波路81の上には応力付与膜としての非晶質シリコン膜31が長さ L'' だけ配置されている。この非晶質シリコン膜31により2本の光導波路81と82の光路長は、偏波方向により $\Delta R = \Delta R \cdot L''$ だけ異なる。ここで ΔR =光波長/2となるように、非晶質シリコン膜31の一部分31bをレーザトリミングすると、第9A図および第9B図

の構成は偏光分離器として動作させることができる。すなわち、入射ポート1aに入射した信号光のうち、例えばTE成分を出力ポート2aより出射させ、TM成分を出力ポート2bより出射させることができる。薄膜ヒータ6への印加電力を変化させ、このヒータ6の下部の光導波路82の光路長を熱光学効果により1/2波長だけ変化させると、TE成分とTM成分のそれぞれ出射する出力ポートを反転させることもできる。

実際には、故意に設けた非晶質シリコン膜による応力付与膜31以外にも、薄膜ヒータ6の存在によっても、その下部の光導波路82の複屈折値がわずかに変化することがあるが、本発明の構成では、薄膜ヒータ6の応力作用も考慮して、所望の偏波特性が得られるように応力付与膜31をトリミングすればよいから、薄膜ヒータ6による複屈折値のわずかな変化は問題とはならない。

以上の実施例では、非晶質シリコン応力付与膜31の幅 $W=200\mu\text{m}$ 、厚さ $d=8\mu\text{m}$ であり、トリミング前後の複屈折値の変化量として、 $\Delta B \times 1.5$

$\times 10^{-5}$ 程度が得られた。Wやdを適宜選択することにより ΔB を変化させることができる。例えば、 ΔB は、 $0 < d < 10 \mu m$ の範囲で、d値にほぼ比例することを確認した。Wが $100 \mu m$ 程度以下の場合には、トリミングにより複屈折値がむしろ増加する現象も観察されたことを付記する。いずれにしても、本発明では、応力分布計算に基づくシミュレーションや予備実験によってWやd値をおおむね定めておけば、トリミングにより複屈折特性を微調整できるからこれらの現象は問題とはならない。

トリミングにより、非晶質シリコン膜を多結晶化させると、複屈折値は応力付与膜がない場合とほぼ同等の値に戻り、多結晶化されたシリコン膜の複屈折値への影響は極めて小さい。

上記実施例では、応力付与膜31として非晶質シリコン膜を用いたが、その理由は、マグネトロンスパッタ等の手段により、比較的簡単に膜形成ができ、および反応性イオンエッチング等のドライプロセスによりパターン形成が容易であるからで

なお、薄膜中に残留引っ張り応力が発生する場合には、薄膜にひび割れ等が生じ易いので、本発明の目的には望ましくない。

上述した非晶質シリコン応力付与膜31は室温近傍での通常の使用環境では長期間にわたって安定であるが、特に高信頼性を要求される場合には、いわゆるパッシベーションの手法を用いることもできる。すなわち、非晶質シリコン膜を形成した後に、その上に SiO_2 薄膜や窒化シリコン膜などを保護膜として形成することによって、非晶質シリコン膜が空気中の水分等の影響により変性するのを防止することができる。 SiO_2 膜や窒化シリコン膜は透明であるので、これらの膜を通してレーザートリミングを実行することが可能である。

応力付与膜31の応力状態を非可逆的に変化させる外部刺激としては、レーザービーム照射の他に、赤外線照射、あるいは高電圧印加による放電や絶縁破壊により応力付与膜の変性や破壊等を行う処理を用いることも可能であるが、非接触状態での処理である点、空間分解能が高く微調整が容易で

ある。非晶質シリコン膜はその内部に強い圧縮応力を呈するように形成することができ、その反作用としてその下に接している光導波路に引っ張り応力を及ぼしているのである。本発明における応力付与膜31としては、クラッド層上に形成した際に強い応力を下部の光導波路、すなわちコア部に及ぼす膜であって、しかも外部刺激により、応力状態を非可逆的に変化し得る膜であれば、他の材料による膜を使用することもできる。

一般に、スパッタ法やプラズマCVD法等の方法によってプラズマ中で形成された薄膜は準安定状態にあり、通常の熱平衡条件下では考えられないほど強大な残留圧縮応力を呈する例が多々ある。上記の非晶質シリコン膜はその典型例である。同様の現象は、Co-Zr膜のような非晶質金属や非晶質窒化シリコン膜等にも見られ、これらの薄膜を本発明での応力付与膜として利用することもできる。一般に、結晶膜に比べて非晶質膜の方が、高い強さとともに高い靱性をもっている点、クリープ現象による応力緩和が生じ難い点で望ましい。

ある点等でレーザービームトリミングが実用的である。

以上の実施例における非晶質シリコンによる応力付与膜31は、クラッド層12上の特定部分にのみ配置したが、本発明は、このような実施例のみに限定されるものではなく、例えばクラッド層12上に広い面積の部分にわたって一様に応力付与膜31を形成しておき、必要部分、例えばコア部の上方部分の応力付与膜をトリミングすることもできる。

あるいはまた、レーザートリミングに代えて、化学エッチングを利用することもできる。すなわち、応力付与膜31の所定部分に化学エッチング液を置き、デバイス特性をモニターしつつエッチングを実行し、所望の特性が得られたところでエッチング液を吹き飛ばし、エッチングすなわちトリミングを終了すればよい。しかし、化学エッチングを用いた場合には、後洗浄処理等が要求されるので、プロセスが煩雑になる欠点がある。

なお、第2A図～第2E図に示した工程例におい

て、上部クラッド層として、 $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ 系混合ガスを原料として形成した $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ 系ガラスを用いた場合には、特殊な例ではあるが、上部クラッド層12に応力付与膜としての役割を兼ねさせることも可能である。すなわち、 B_2O_3 を10モル%程度以上含む石英系ガラスは熱処理によりガラス状態が容易に変化することを利用して、この上部クラッド層12により応力状態を調整することができる。例えば、炭酸ガスレーザビーム照射により、上記クラッド層12の所望部分を500℃程度以上に加熱した後に空冷すると、コア部に及ぼす応力複屈折値を変化させることができる。

しかしこの方法は、次の理由で汎用的ではないことを付記しておく。

- (1) クラッド層組成は、他の要求条件（屈折率差の設定や耐候性の観点等）により規定されることが多く、自由に B_2O_3 を添加することはできない。
- (2) $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ 系ガラスは、上記トリミングにより屈折率値そのものも変化してしまうので、光導波路の構造に大きな変化を与えることなく複屈折

を適切に定めることによって、B値がほぼ零になるよう設定しておき、正確な微調整を応力付与膜31をトリミングして行うようにすれば、Bが 10^{-4} 以下の領域でも、精密な複屈折調整を達成することができる。このように、応力調節溝21aおよび21bとトリミング可能な応力付与膜31とを併用することにより、広範囲にわたって複屈折を調整することができる。

以上の実施例では、シリコン基板上の石英系光導波路を基本とする集積光デバイスの場合について、本発明を説明してきたが、本発明は、異種の基板、例えば石英ガラス基板やサファイヤ基板上の石英系光導波路にも適用できることはもちろんである。あるいはまた、本発明は、石英系光導波路にのみ限定されず、他の材料系の光導波路、例えば、多成分ガラス系光導波路、 LiNbO_3 系光導波路、半導体系光導波路、磁性体系光導波路等を基本とする集積光デバイスにも適用できることももちろんである。

値のみを調節することが困難である。

実施例 6

第10図は、本発明の第6の実施例におけるトリミング箇所の光導波路の断面構造を示す断面図である。本実施例6では、あらかじめクラッド層12の上面にはば一様に応力付与膜31を形成しておく。ついで、応力調節溝21aおよび21bを光導波路31の両側のクラッド層12内に形成して、所望の複屈折値にほぼ合わせておく。続いて、クラッド層12の上面に形成されている応力付与膜31をトリミングして正確に複屈折特性、ひいては、デバイスの偏波特性のチューニングを行う。この実施例6により、広範囲にわたる複屈折制御を正確に達成できる。

例えば、実施例1で説明した非品質シリコン応力付与膜の場合、トリミングの前後で複屈折値は $B \approx 3.5 \times 10^{-4}$ から $B \approx 5 \times 10^{-4}$ に変化するが、Bを、例えば 10^{-4} 以下の値に設定することは困難である。しかし、第10図の実施例6によれば、あらかじめ応力調節溝21a溝および21bの位置や深さ

実施例 7

第11図は、本発明の第7の実施例としての多成分ガラス系集積光デバイスの断面構造を示す断面図である。多成分ガラス基板である光学クラウンガラス基板101の上面近傍にCsイオンの拡散法によりコア部102および103を形成し、これらコア部102および103による単一モード光導波路を所定の光回路パターン、例えば光干渉計やリング共振器などのパターンで配置する。ガラス基板101自体は、下部クラッド層としての役割を兼ねている。コア部102および103の上面には、さらにスパッタ法で形成した SiO_2 ガラス層を上部クラッド層104として配置する。この上部クラッド層104の上面の所望部分にはトリミング可能な応力付与膜としての非品質シリコン膜31を配置する。

イオン拡散法により形成された多成分ガラス系光導波路は、コア部と基板とのガラス組成の差により、一般に応力複屈折性を呈するが、第11図示のデバイス構造では、非品質シリコン応力付与膜31をトリミングすることにより、集積光デバイス

に所望の偏波特性を付与できる。応力付与膜31とコア部102との間に SiO_2 ガラス層104を設けたのは、コア部102に近接し過ぎて非品質シリコン膜31を形成すると、コア部102における伝搬光が非品質シリコン膜31によって吸収されてしまうので、これを防止するためである。すなわち、イオン拡散法で作製される光導波路では、コア部が基板の表面近傍に位置することを考慮したものである。

実施例8

第12図は、本発明の第8実施例であるYIG系光導波路デバイスの断面構造を示す断面図である。

ここで、GGG結晶基板111上に、液相エピタキシャル成長法(LPE法:Liquid-Phase Epitaxial Method)とエッチング法との組合せにより、下部クラッド層112、コア部113、上部クラッド層114からなるYIG系単一モード光導波路が形成されている。上部クラッド層114の上には、トリミング可能な応力付与膜としての非品質シリコン膜

系組成を選択することにより、複屈折値をあらかじめ零に近づけ、応力付与膜31のトリミングによる調整の可能な範囲内に設定しておくことは必要である。

本実施例の方法により、YIG系光導波路作製時の誤差を許容して、再現性よく光アイソレータ用導波路デバイスを製造できる。

本実施例においても、実施例5で示した形態、すなわち、応力調節溝と応力付与膜の双方を設けることもできることは当然である。すなわち、第12図におけるコア部113の両側に、応力調節溝を、コア部113の複屈折値がほぼ零となるよう、エッチング加工して設けておき、最終的な調整を応力付与膜31のトリミングで達成することもできる。

以上の実施例では、応力付与膜31は単一モード光導波路のコア部上方に左右対称性を満たすように配置されている。しかし、本発明は、これに限定されるものではなく、必要であれば、次の実施例に示すように、左右対称性のない配置も可能

31が配置されている。

GGG基板上的YIG系光導波路は、一般に、基板との熱膨張係数差により応力複屈折性を呈している。YIG系光導波路を導波形光アイソレータ分野に応用する場合には、ファラデー回転を円滑に起こすために、この複屈折値を零にチューニングする必要がある。第12図示の構造では、コア部113の偏波特性をモニタしつつ応力付与膜の幅をトリミングすることにより、正確なチューニングが可能である。

なお、これまでの実施例1、2、3等においては、光導波路の複屈折値Bの光導波路の所定長にわたる積分値がデバイスの偏波特性を決定していたが、本実施例8では、B値そのものを光導波路の全長にわたって零にすることが要求される。このような目的のためには、応力付与膜31のトリミング未実施領域31aの幅をトリミングにより一様に微調整し、光導波路の複屈折値をほぼ零(10^{-5} 以下)にすることが効果的である。

もちろん、光導波路の作製工程において、YIG

である。

実施例9

第13A図および第13B図は、本発明の第9実施例の構成を示す、それぞれ、平面図および第13A図のAA'線に沿った断面を拡大して示す断面図である。

ここで、石英ガラス基板121の上に、石英系ガラスによるコア部122と、このコア部122を覆うように形成された石英系ガラスによるクラッド層123とを配置する。コア部122の近傍のクラッド層123の上に所定の長さにわたって、かつコア部122の一端に偏って非品質シリコン応力付与膜31を配置する。石英ガラス基板121の上の石英系光導波路は、比較的小さい応力複屈折性のみしか示さないが、偏って配置された応力付与膜31は、その下部の光導波路122に対して、複屈折性主軸が基板121に垂直な方向から傾いた応力複屈折性を発生させる作用を示し、第13A図および第13B図示の構成は、全体として導波型光波長板として動作する。ここで、レーザトリミング可能な応力付

与膜31を用いているので、この応力付与膜31の幅や長さを適宜トリミングすることにより、所望の波長板を精度よく構成することができる。

最後に再度強調したい点は、本発明は、上記実施例に具体的にとりあげた材料系の集積光デバイスに限定されず、他の材料系の集積光デバイスにも適用できる点である。特にLiNbO₃系材料は、ガラス系やYIG系に比較して、はるかに大きな光弾性定数をもっているため、LiNbO₃系集積光デバイスは本発明の好適な対象となることを付記する。例えば、トリミング可能な応力付与膜をLiNbO₃系方向性結合器の結合部近傍に設け、その応力複屈折作用により、方向性結合器の結合比や偏波依存性を正確に調整することが可能であり、方向性結合器を基本とする光スイッチや光変調器などのLiNbO₃系集積光デバイス製作に極めて有効であることを指摘しておく。

【発明の効果】

以上説明したように、本発明では、光導波路の

る。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明集積光デバイスの第1実施例である光干渉計を示す斜視図、

第2A図～第2E図は、本発明集積光デバイス製造方法の一実施例における工程を説明するための断面図、

第3図は、本発明で用いたレーザトリミング装置の一例を示す概略構成図、

第4A図および第4B図は、光干渉計の偏波特性説明図、

第5A図および第5B図は、本発明集積光デバイスの第2実施例である光干渉計を示す、それぞれ、斜視図およびそのAA'線断面図、

第6図は、本発明集積光デバイスの第3実施例である2段光干渉計を示す平面図、

第7図は、本発明集積光デバイスの第4実施例であるリング光共振器を示す平面図、

第8A図および第8B図は、リング光共振器の偏波

クラッド層上に、外部刺激、すなわちトリミングにより応力状態を変化させ得る応力付与膜を設けて集積光デバイスを構成しておくことにより、光導波路の複屈折特性、ひいては、デバイスの偏波特性を正確に制御することができる。トリミングは、デバイス光入出力部に光ファイバを取り付けたまま実行できるので、いわゆるオンラインモニター制御が可能となる利点がある。したがって、本発明は、偏波特性が重要な役割を果たす光通信用や光センサ用、光信号処理用集積光デバイスを精度良く構成するのに極めて有効である。

また、本発明によれば、光導波路複屈折値のみならず、光導波路の光路長を光波長の百分の一以下の精度で微調整する場合にも適用できる。これは、応力付与膜のトリミングにより、光導波路の長手方向の屈折率も微小であるが、変化することを利用するものである。

複屈折値や光路長の正確な設定は、光波をマイクロ波のように扱うコヒーレント光通信用集積光デバイスの実現に大きな役割を果たすと期待され

特性説明図、

第9A図および第9B図は、本発明集積光デバイスの第5実施例である偏波分離器を示す、それぞれ、平面図およびそのAA'線断面図、

第10図は、本発明集積光デバイスの第6実施例における光導波路を示す断面図、

第11図は、本発明集積光デバイスの第7実施例としての多成分ガラス系光導波路を示す断面図、

第12図は、本発明集積光デバイスの第8実施例としてのYIG系光導波路を示す断面図、

第13図は、本発明集積光デバイスの第9実施例としての導波形光波長板を示す、それぞれ、平面図およびそのAA'線断面図、

第14A図および第14B図は、従来の集積光デバイスの一例としての光干渉計の構成を示す、それぞれ、平面図およびAA'線断面図、

第15図は、従来の光干渉計の光周波数特性説明図、

第16A図および第16B図は、従来の集積光デバイスの他の構成例を示す、それぞれ、平面図およ

びAA'線断面図、

第17図は、従来の集積光デバイスのさらに他の構成例を示す断面図である。

- 1…シリコン基板、
- 2, 3…方向性結合器、
- 2-1, 2-2, 3-1, 3-2, 4, 5…単一モード光導波路（コア部）、
- 6…薄膜ヒータ移相器、
- 1a, 2a…入力ポート、
- 1b, 2b…出力ポート、
- 1a', 2a', 1b', 2b'…入出力ファイバ、
- 12…クラッドガラス層、
- 21a, 21b…応力調節溝、
- 22a, 22b…応力付与部、
- 23a, 23b…熱分離溝、
- 31…トリミング可能な応力付与膜（非品質シリコン膜）、
- 31a…トリミング未実施領域、
- 31b…トリミング実施領域、

69a, 69b, 69c, 69e, 69f, 69g, 69h…単一モード光導波路、

71…リング状光導波路、

72…入力導波路、

73…出力導波路、

74, 75…方向性結合器、

81, 82…単一モード光導波路（コア部）、

83, 84…方向性結合器、

101…多成分ガラス基板、

102, 103…イオン拡散単一モード光導波路（コア部）、

104…上部クラッド層、

111…GGG基板、

112…YIG系下部クラッド層、

113…YIG系コア部、

114…YIG系上部クラッド層、

121…シリコン基板、

122…石英系単一モード光導波路（コア部）、

123…クラッド層、

37…トリミング用レーザービーム、

41…下部クラッド層、

42…コア層、

42a, 42b…コア部、

43…上部クラッド層、

51…試料、

52…試料台、

53, 53'…信号光源、

54…光検出器、

55…レーザー光源、

56…レーザービーム走査装置、

61a, 61b, 61c, 61d…入力ポート、

62-1, 62-2, 62-3, 63-1, 63-2, 63-3…方向性結合器、

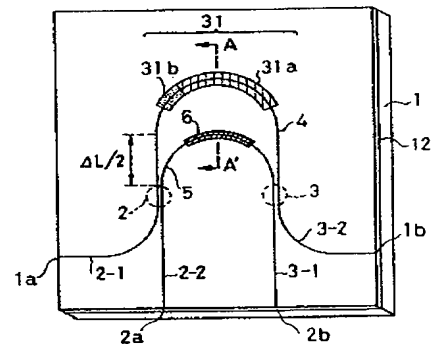
64a, 64b, 64c, 64d, 68a, 68b, 68c, 68d…単一モード光導波路、

65a, 65b, 65c, 65…出力ポート、

66, 67, 68…薄膜ヒータ移相器、

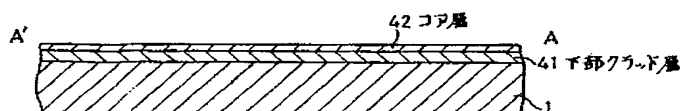
66-1, 66-2, 66-3…薄膜ヒータ移相器、

67-1, 67-2, 67-3…トリミング可能な応力付与膜、

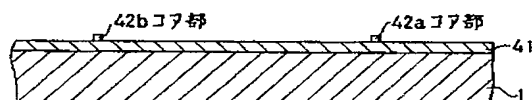


- 1…シリコン基板
- 2, 3…方向性結合器
- 1a, 2a…入力ポート
- 1b, 2b…出力ポート
- 2-1, 2-2, 3-1, 3-2, 4, 5…光導波路
- 6…薄膜ヒータ移相器
- 12…クラッドガラス層
- 31…応力付与膜
- 31a…トリミング未実施領域
- 31b…トリミング実施領域

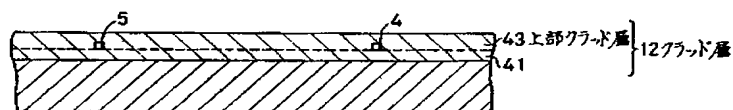
実施例1の斜視図
第1図



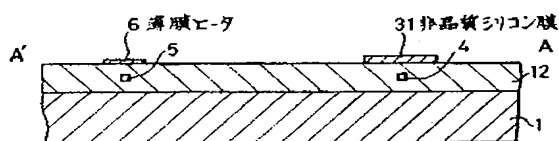
本発明製造方法の実施例の工程説明用断面図
第2A図



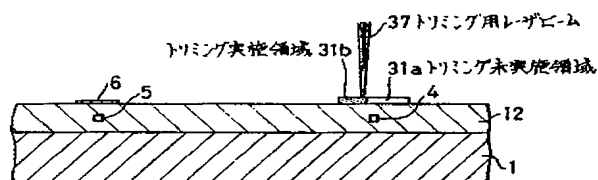
本発明製造方法の実施例の工程説明用断面図
第2B図



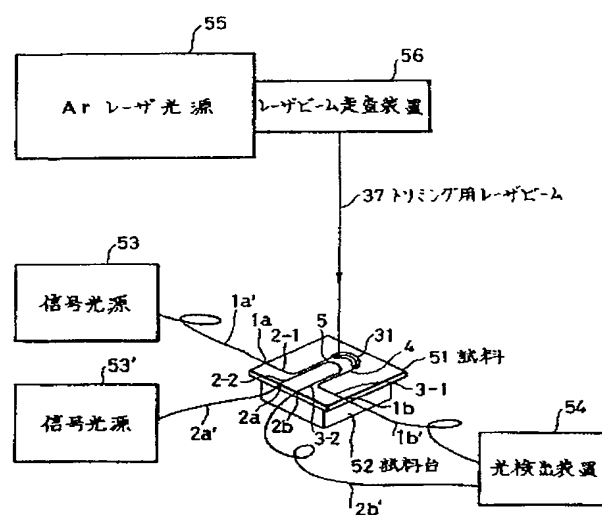
本発明製造方法の実施例の工程説明用断面図
第2C図



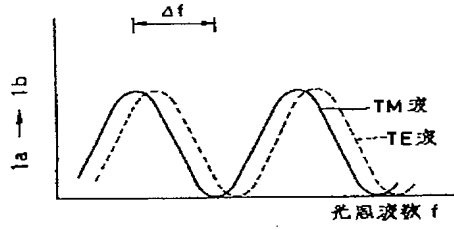
本発明製造方法の実施例の工程説明用断面図
第2D図



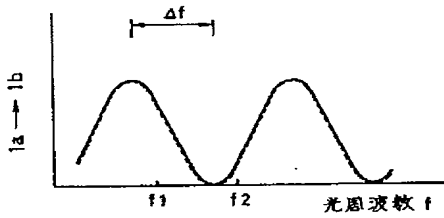
本発明製造方法の実施例の工程説明用断面図
第2E図



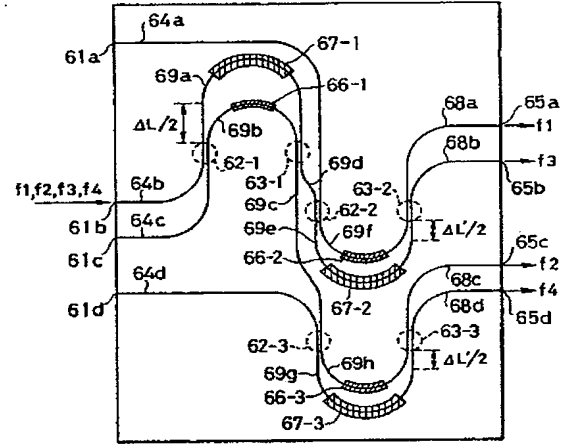
本発明で用いたレーザトリミング装置の概略構成図
第 3 図



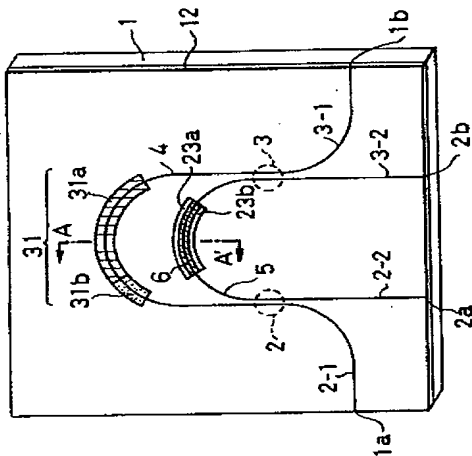
光干渉計の偏波特性説明図
第4A図



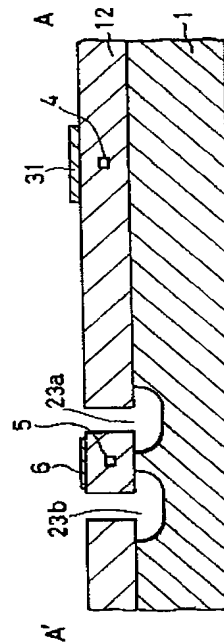
光干渉計の偏波特性説明図
第4B図



実施例3の平面図
第6図

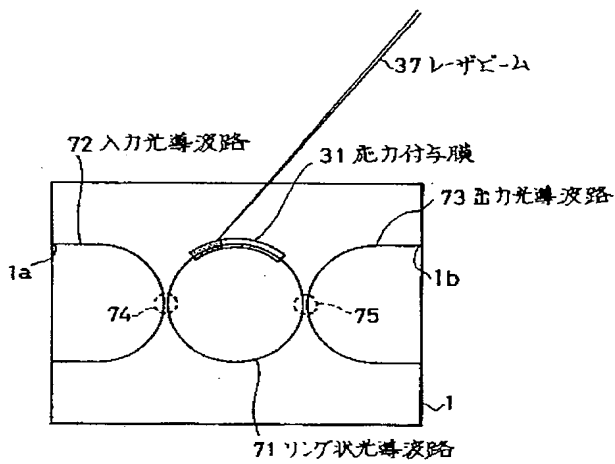


実施例2の斜視図
第5A図



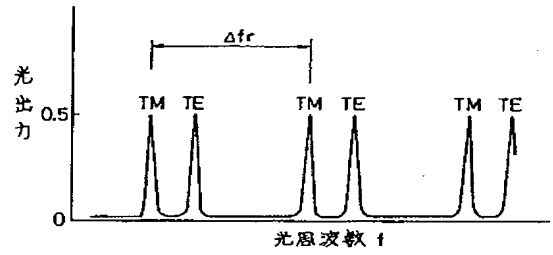
実施例2の断面図
第5B図

23a, 23b --- 熱分離溝

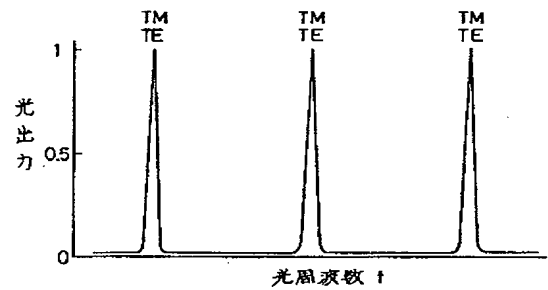


74, 75 --- 方向性結合器

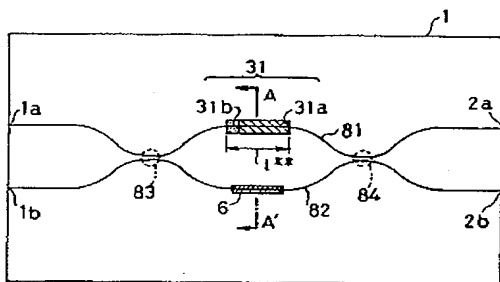
第3実施例の平面図
第7図



リング光共振器の偏波特性説明図
第8A図

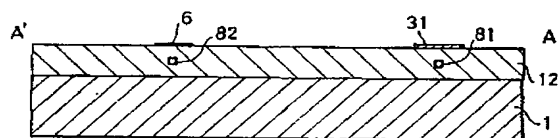


リング光共振器の偏波特性説明図
第8B図

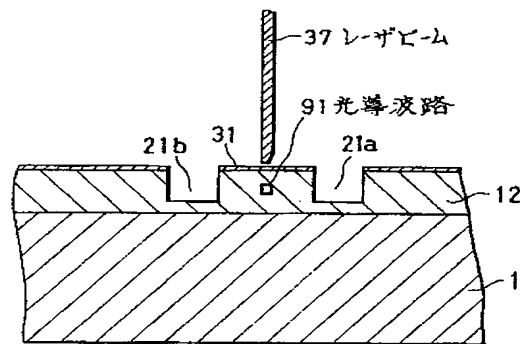


81, 82 --- 単一モード光導波路
83, 84 --- 方向性結合器

実施例5の平面図
第9A図

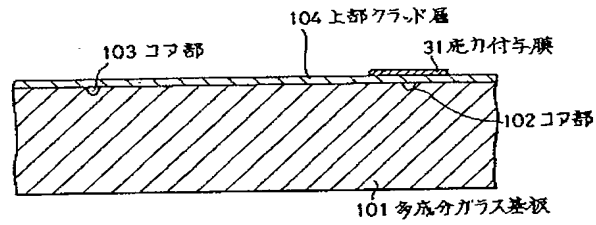


実施例5の断面図
第9B図

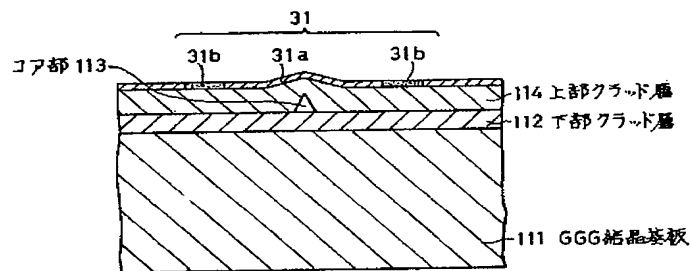


21a, 21b --- 応力調節溝

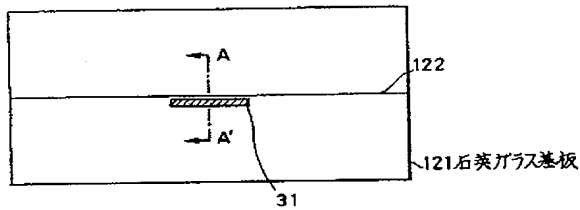
実施例6の断面図
第10図



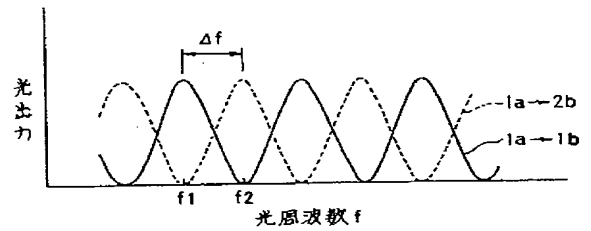
実施例 7 の断面図
第 11 図



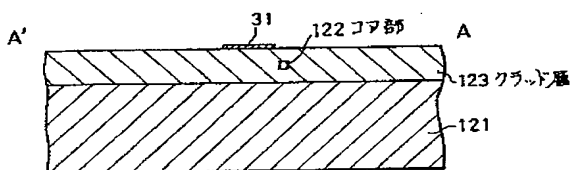
実施例 8 の断面図
第 12 図



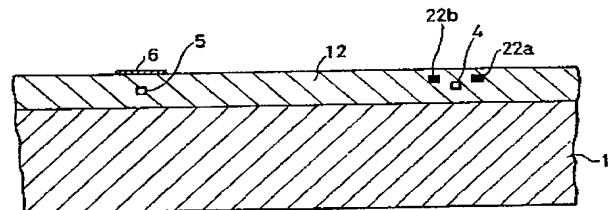
実施例 9 の平面図
第 13A 図



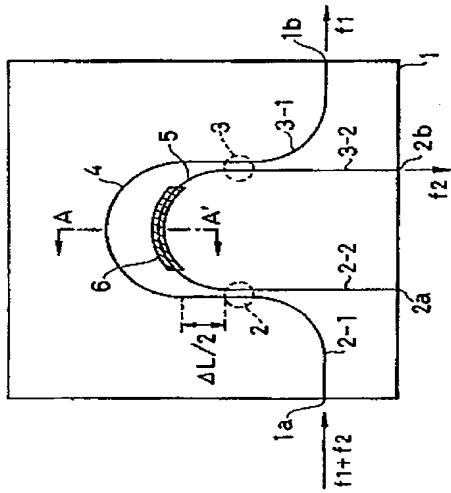
光路差特性説明図
第 15 図



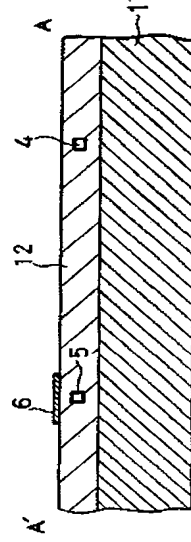
実施例 9 の断面図
第 13B 図



従来例の断面図
第 17 図

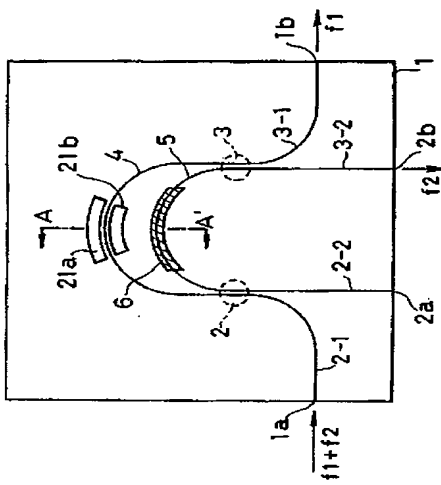


従来例の平面図
第14A図

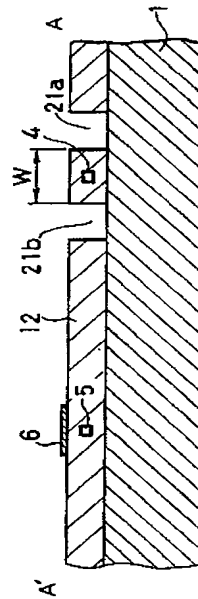


- 1 --- シリコン基板
- 2, 3 --- 方向性結合層
- 4 --- 入力ポート
- 5 --- 出力ポート
- 6 --- 特相層
- 12 --- グラウンドガラス層

従来例の断面図
第14B図



従来例の平面図
第16A図



- 21a, 21b --- 応力緩和層

従来例の断面図
第16B図

第1頁の続き

⑤Int. Cl. 4

G 02 B 6/12

6/14

識別記号

庁内整理番号

F-7036-2H

M-7036-2H

7036-2H

⑦発明者 杉田 彰夫 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑦発明者 住田 真 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内